الملاحة الفضائية

د. عبدالعزيز الصقير

منذ قدم التاريخ والإنسان يريد معرفة موقعه الحالي واتجاهه، وكيف يصل إلى وجهته، ففي العصور الأولى اعتمد الإنسان في تنقله على تذكر العلامات البارزة كنقاط مرجعية للاستدلال، كأكوام الحجارة أو المعالم الطبيعية كالجبال والأنهار. قد تنجح هذه الوسيلة على نطاق ضيق فقط؛ لذا لم يستطع الإنسان الابتعاد كثيراً عن موطنه بهذا الأسلوب.

ازدادت المعضلة سوءً عندما أراد الإنسان خوض عباب البحر، وذلك لانعدام العلامات البارزة هناك، لذا اقتصر على الإبحار بمحاذاة السواحل وفي النهار، ثم بدأ بعد ذلك الاستدلال بالنجوم مساءً، حيث تختلف تشكيلة النجوم باختلاف الموقع. ثم استخدام أجهزة تقيس بدقة الزوايا بين النجوم، وبها استطاع الإنسان أن يقيس الموقع بدقة تصل إلى بضعة كيلومترات، غير أن هذه الوسيلة قيِّدت الملاحة لتكون في المساء وعندما تكون السماء صافية، ثم استخدمت البوصلة فيما بعد لتحديد الاتجاه في البر والبحر، ثم استخدمت آلة السُّدسيّة (Sextant) لتحديد خط العرض.

وفي منتصف القرن الماضي استخدمت الإشارات اللاسلكية (إشارات الراديو) في تحديد المواقع، ووصلت دقة تحديد الموقع، بهذا النظام إلى ٣٠٠ متر. وقد استخدمت هذه الطريقة بكثرة خلال الحرب العالمية الثانية، فقد خصص نظام لوران(LORAN) الأمريكي لتحديد مواقع السفن الحربية في البحار. ولمحدودية عدد المحطات الممكن إنشاؤها في العالم فقد غطى هذا النظام حوالي ٥٪ فقط من مساحة الأرض، كما أن دقة تحديد الموقع تتغير باختلاف المكان.

تلا ذلك استخدام طريقة التثليث (Trilateraltion) ـ يتم تفصيلها لاحقاً ـ لتحديد الموقع، والتي تعتمد على قياس المسافة، ويتألف الجزء الأول منها من ثلاث محطات إرسال على الأقل. ترسل كل محطة إشارة تحمل موقعها ووقت إرسالها، ويجب أن تكون الساعات في جميع المحطات متزامنة مع بعضها بدقة، لأن دقة تحديد الموقع تعتمد على دقة ساعات المحطات، فخطأ في قياس الزمن بواحد من المليون من الثانية يعطي خطأً في تحديد الموقع بحوالي ٣٠٠ متر.

يتكون الجزء الثاني من النظام من أجهزة تستقبل إشارات المحطات. تقوم هذه الأجهزة بتقدير موقعه، وذلك بحساب المسافة بينه وبين تلك المحطات. ومن معرفة هذه المسافات يمكن تحديد موقع الجهاز بالنسبة للمحطات الثلاث. تُحسب المسافة بين الجهاز وكل محطة بتحديد الزمن الذي استغرقته هذه الإشارات للوصول إلى الجهاز باستخدام المعادلة التالية:

المسافة = السرعة × الزمن

حيث إن السرعة هي سرعة الضوء وتساوي ٣٠٠٠٠٠ كم/ ثانية.

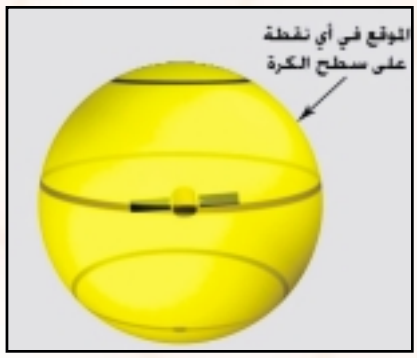
تعتمد مساحة المناطق التي تخدمها مثل هذه الأنظمة الأرضية على عدد محطات الإرسال الموجودة. ولكن نظراً لصعوبة إنشاء محطات إرسال في المناطق النائية والمحيطات، فإنه يصعب خدمة هذه المناطق مع أنها بأمس الحاجة لتحديد المواقع فيها. ومع أنه لا يمكن استخدام هذه الأنظمة لتحديد الارتفاع في موقع ما وكذلك للتغطية العالمية، إلا أنه يمكن استخدامها في تحديد المواقع بدقة معقولة.

نظام الملاحة الفضائي

أدرك العلماء ـ بعد إطلاق أول قمر اصطناعي ـ أن الإشارة المرسلة من القمر يمكن استخدامها لتحديد المواقع، وذلك لأن القمر معروف مكانه بدقة في أي وقت. وبالتالي فإن أقمار الملاحة الفضائية تقوم بدور المحطات الأرضية في المثال السابق، إذ يعرف موقع كل منها في الفضاء بدقة تامة منذ لحظة إرسال الإشارة. ومع أن هذه الأقمار تسبح في الفضاء وليست ثابتة، إلا أن موقعها معروف على الدوام، لذا فإن دورانها حول الأرض لن يؤثر على عملية تحديد الموقع على الأرض.

تحدد أجهزة تحديد المواقع الأرضية موقعها بالاستفادة من إشارات أقمار الملاحة . ويتطلب ذلك وجود جهاز تحديد المواقع في مكان يستقبل إشارات مباشرة لأن إشارات الأقمار ضعيفة لاتخترق العوائق الطبيعية أو الاصطناعية. لذا لا تستطيع هذه الأجهزة حساب الموقع داخل المباني والأنفاق وتحت الجسور، وللتغلب على ذلك يمكن استخدام طريقة التثليث التي تحتاج إلى معرفة موقع أربعة أقمار أو أكثر في الفضاء ، والمسافة بين جهاز تحديد المواقع وكل قمر. ولحساب موقع القمر تقوم محطات أرضية برصد كل قمر وتحديد مايعرف بعوامله المدارية (Orbital Elements) والتي يمكن بواسطتها حساب موقعه في الفضاء كل لحظة ، حيث ترسل محطات التحكم هذه البيانات للقمر ليقوم بإرسالها للأرض كجزء من الإشارة المرسلة ويستقبلها الجهاز ويحسب منها موقع القمر عن طريق معرفة مدة وصول الإشارة بتزامن إشارة رقمية خاصة بين القمر والجهاز، حيث يولد القمر شفرة خاصة ويرسلها كجزء من إشارته التي يستقبلها جهاز تحديد المواقع، ويولد الجهاز نفس الشفرة المعروفة لديه مسبقا. وبمقارنة تزامن هاتين النسختين من نفس الشفرة يحسب الجهاز الفرق الزمني بينهما الذي يساوي المدة التي استغرقتها إشارة القمر .

بعد معرفة الجهاز لمواقع عدة أقمار استقبل إشاراتها والمسافة بينه وبينها، يمكنه تطبيق طريقة التثليث لحساب موقعه



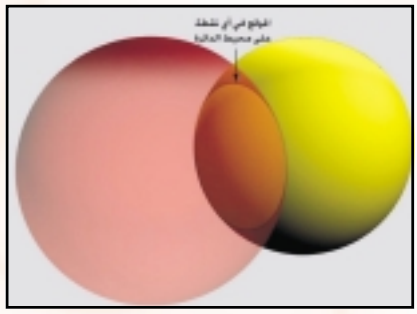
● شكل (١) يقع الجهاز على سطح كرة بمسافة محددة من القمر .

وذلك بحساب موقع أربعة أقمار (على الأقل) والمسافة بينه وبين كل منها ، وذلك على النحو التالي :

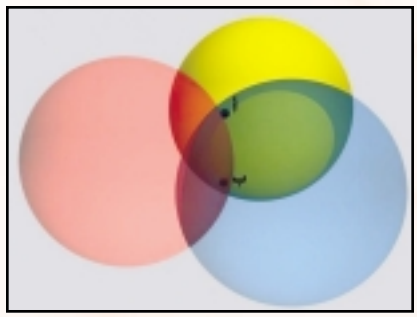
١ـ من القمر الأول يحدد الجهاز موقعه من نقطة معروفة الموقع . أي أنه يقع في مكان ما على كرة مركزها موقع القمر ونصف قطرها يساوي المسافة بينهما ، شكل (١) .

٢ـ من إشارة القمر الثاني يحدد الجهاز أنه يقع على كرة ثانية (الكرة الحمراء) يساوي نصف قطرها المسافة بينه وبين القمر الثاني ومركزها موقع القمر الثاني. وبما أن الجهاز يجب أن يقع على سطح الكرتين معا فإن هذا لايحدث إلا في تقاطع تلك الكرتين (الدائرة البرتقالية) كما هو موضح بالشكل (٢) .

٣ـ من إشارة القمر الثالث (الكرة الزرقاء) يحدد الجهاز موقعه في تقاطع الكرات الثلاث، أي على إحدى النقطتين (أ) أو (ب) ، شكل (٣) .



● شكل (٢) الجهاز يقع في دائرة التقاء الكرتين .



● شكل (١) الجهاز يقع على إحدى النقطتين (أ) أو (ب) .

٤ـ تقع إحدى النقطتين خارج الكرة الأرضية، ولذا يمكن تحديد خطى الطول والعرض من إشارات ثلاثة أقمار فقط . أما القمر الرابع فيفيد في تحديد الارتفاع عن سطح الأرض وتحسين دقة تحديد الموقع . ولأن ساعات أجهزة تحديد المواقع ليست بدقة ساعات القمر، فإن هذه الأجهزة تستفيد من إشارة القمر الرابع في تحسين دقة ساعتها .

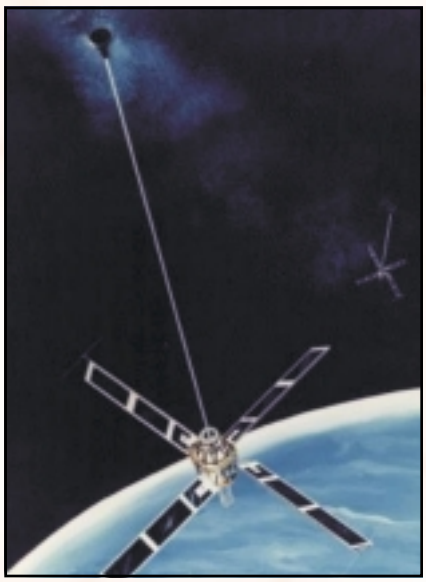
تاريخ الملاحة الفضائية

بدأت الملاحة الفضائية عندما أطلقت البحرية الأمريكية أول أقمار النظام الملاحي ترانزت (Transit) في عام ١٩٦٠م، حيث استخدمته السفن والغواصات وحاملات الطائرات لتحديد مواقعها. كان هذا النظام يتكون من ستة أقمار تدور في مدار قطبي على ارتفاع ٨٥٠ كم وثلاث محطات تحكم أرضية، حيث وصلت الدقة ما بين ٨٠ إلى ١٠٠ متر، ولكن هذه الدقة تتحسن أكثر لتصل إلى ٥ م عند تكرار حساب الموقع لأكثر من مرة على عدة أيام، أي أن هذه الدقة العالية لا تتوفر للعربات والسفن المتحركة.

انتهى العمل بهذا النظام عام ١٩٩٦م، وتولدت عنه منظومة أقمار الملاحة المتطورة نافستار (NAVSTAR)والتي أطلق أولها في عام ١٩٧٨م، وقد عُرف هذا النظام فيما بعد بنظام تحديد المواقع العالمي(Global Positioning System- GPS) .

تطبيقات أنظمة الملاحة الفضائية

بعد نجاح أقمار الملاحة في تحديد المواقع ظهرت استخدامات عديدة لم ترد في خلد مصممي النظام، فقد بدأ الاستخدام المدني لأنظمة الملاحة الفضائية مثل (G P S) مع بداية حرب الخليج الثانية، ثم انتشر بوتيرة متسارعة، وأصبح باستطاعة أي شخص في أي مكان بالعالم وتحت أي ظروف جوية معرفة موقعه بدقة عن طريق تحديد خط الطول والعرض والارتفاع، وكذلك تحديد الوقت بدقة شديدة؛ وذلك باستخدام جهاز صغير ورخيص وسهل الاستعمال. تعددت استخدامات هذه الأنظمة في اليابسة والبحر والجو وحتى الفضاء، وسوف تزداد تطبيقاته في المستقبل لتشمل المساعدة في هبوط



الطائرات في الأحوال الجوية السيئة وفي سيارات النقل والركاب، وتطبيقات أخرى عديدة. أهمها ما يلي:

● المساحة ونظام المعلومات الجغرافي

يعد نظام المعلومات الجغرافي (Geographic Information System - GIS) أهم تطبيق للملاحة الفضائية، وهو عبارة عن قاعدة بيانات لوصف مكان ما على الأرض. حيث تُحدد أقمار الملاحة موقع هذا المكان ـ خطي الطول والعرض ـ بينما يحدد نظام المعلومات الجغرافي ماهية هذا المكان : شارع ، منزل، وادي، شجرة.. إلخ. لذا فإن مزج النظامين ينشأ عنه نظام يساعد في تحديد وتحليل وتنظيم المصادر بصورة أفضل.

تستخدم الأجهزة الملاحية لمسح الأرض وتسجيل موقع المعالم ونقاط التحكم الأرضية بدقة. وقد تم وضع خرائط دقيقة للمدن والجبال والأودية والأنهار كان لها الأثر الكبير في النشاطات العمرانية والاقتصادية والبشرية والبيئية. ويمكن استخدام هذه الأنظمة في عمليات المسح البسيطة مثل تعيين حدود الأملاك، حيث يستطيع شخص مسح عشرات النقاط في الساعة، كما يمكن استخدام السيارات لمسح مناطق كبيرة بسرعة مثل مسح الطرق.

تم تطبيق نظام المعلومات الجغرافي خلال حفر القناة الإنجليزية، حيث بدأ الإنجليز والفرنسيون الحفر من الاتجاهين معتمدين في ذلك على نظام (GPS) لمعرفة الموقع فوق مكان الحفر للتأكد من موقعهم داخل النفق، وقد التقى الفريقان في المنتصف تماماً.

● المواصلات وتعقب المركبات

تمثل وسائل الموصلات البرية والبحرية أهم النشاطات المستفيدة من الملاحة الفضائية. حيث يمكن للمركبات والشاحنات والحافلات والسفن وحتى السيارات الخاصة معرفة موقعها واتجاهها وطريق الوصول إلى وجهتها.

تُستخدم أقمار الملاحة في تعقب المركبات والسفن والحاويات والقطارات، حيث تحمل المركبات جهاز تحديد المواقع وتحسب موقعها وترسله عبر شبكة لاسلكية أرضية أو عبر أقمار الاتصالات إلى مراكز إدارة هذه الأساطيل. وبذلك تتمكن هذه المراكز من الاستفادة من كل الموارد والاستجابة السريعة العالية الكفاءة للظروف الطارئة سواء كانت سيارات إسعاف، أو أسطول بحري، أو شبكة قطارات. كما يمكن لمراكز قيادة النقل التحكم في خط سير المركبات لتحديد أقصر الطرق وأقلها ازدحاماً أو خطراً.

تتكون شبكات القطارات من خطوط طويلة ذات مسار واحد، لذا فإن معرفة مواقع القطارات بدقة ستساهم في تقليل حوادث الاصطدام وتقليل زمن التأخير الناجم عن انتظار القطارات المعاكسة.

كما تساعد الملاحة الفضائية في التحكم في توجيه السفن وناقلات النفط عند الموانئ والمضائق، حيث تُلزم الكثير من الدول السفن باستخدام أنظمة الملاحَة الفضائية لتوجيه السفن وتقليل مخاطر الاصطدام والتلوث البحري.

● الملاحة الجوية

تعد أقمار الملاحة حجر الأساس في الملاحة الجوية وإدارة المجال الجوي، (Air Traffic Control) فهي توفر إمكانيات أفضل من الأنظمة الأرضية، حيث يمكن إرشاد الطائرات في الجو لاتخاذ مسارات طيران أقصر، وتفادي الحوادث عند الهبوط والإقلاع. كما تساعد أقمار الملاحة في إرشاد الطائرات والمروحيات إلى مكان الهبوط، حيث تهبط الطائرة في منتصف ممر الهبوط بسهولة، ويتمكن مديرو العمليات في المطارات من إرشاد الطائرات وعربات الخدمة داخل المطار بدقة. كما ساعدت هذه الأنظمة الملاحية الطائرات الصغيرة على الهبوط في مدرجات المناطق النائية خصوصا في الظلام.

تقدم أقمار الملاحة مستوى أمان عالي، كما تساهم في زيادة سعة المجال الجوي، وتقليل زمن الرحلة، وتخفيض استهلاك الوقود والتكلفة، خصوصا في المطارات المزدحمة. إضافة إلى أنها تساهم في تقليل بعض مشاكل الطيران مثل تأخير الرحلات أو إلغائها وتحويل مسار الطائرات.

● التطبيقات العسكرية

تستفيد جميع العمليات العسكرية وأنظمة الأسلحة من أنظمة الملاحة الفضائية، حيث تعد أنظمة الملاحة الرئيسية في الطائرات والقاذفات والدبابات والغواصات والسفن، وحتى المشاة (معرفة الموقع والاتجاه والسرعة). كما توجه الصواريخ العابرة للقارات والصواريخ الذكية إلى أهدافها بواسطة أقمار الملاحة، حيث يستقبل الصاروخ إشارات أقمار الملاحة ويحدد موقعه ويحسب المسار إلى الهدف.

● تحديد الزمن

استخدمت أقمار الملاحة في تحديد الوقت بدقة كبيرة، فبواسطتها يمكن ضبط ساعات العالم على ساعات الأقمار، وذلك لأن أقمار الملاحة تحمل ساعات ذرية دقيقة جداً ترسل للأرض توقيتها كجزء من إشارات القمر. تضبط أجهزة الاستقبال ساعاتها على ساعة القمر ,لأن دقة ساعة الجهاز هي نفس دقة الساعة الذرية، والتي قد تصل إلى واحد من ١٥٠ بليون من الثانية. وتعد هذه الدقة في الزمن مفيدة للفلكيين وشبكات الحاسب الآلي وأنظمة الاتصالات ومحطات الإذاعة والتلفزيون والبنوك، حيث يوضع جهاز في هذه المنشآت لاستقبال إشارة أقمار الملاحة لا لتحديد الموقع، بل لتحديد الزمن.

● تطبيقات أخرى

هناك العديد من استخدامات الملاحة الفضائية الأخرى التي تشمل جميع الأنشطة البشرية تقريبا منها:

١ـ تحديد موقع الكعبة المشرفة بدقة، وبالتالي يمكن تحديد اتجاه القبلة بدقة في أي مكان في العالم.

٢ـ التحكم في توزيع الأسمدة والمبيدات وحرث وحصاد الحقول للحصول على إنتاج أعلى بتكلفة أقل، واستخدام أفضل للموارد الطبيعية، وتقليل استخدام المبيدات والأسمدة للحفاظ على البيئة.

٣ـ مسح مناطق الموارد المعدنية والنفطية لإدارتها بشكل أفضل. وتعد شركات التنقيب عن النفط من أكثر النشاطات الاقتصادية اعتمادا على الملاحة الفضائية وخصوصا في اكتشاف وإدارة حقول

النفط البحرية لانعدام العلامات المميزة لأماكن البحث والحفر.

٤ـ مراقبة الحيوانات البرية والبحرية، حيث تم وضع أجهزة تحديد الموقع وأجهزة إرسال صغيرة على سلاحف معرضة للانقراض لمتابعتها.

٥ـ مراقبة ثقوب طبقة الأوزون.

٦ـ مراقبة البقع النفطية، و التصحر والظواهر الطبيعية الأخرى وتغيرها مع الزمن.

٧ـ معرفة المناطق المنكوبة وموقع فرق الإنقاذ لأداء أفضل واستجابة أسرع في حالة تدمير أو اختفاء العلامات الأرضية مثل الطرق والمباني. وبذلك تستطيع سيارات الإسعاف أو المطافئ الوصول إلى موقع الحدث بسرعة بمساعدة الملاحة الفضائية. كما يمكن لطائرات تحمل أنظمة ملاحة فضائية تحديد موقع الكارثة وحدودها بدقة وتحديد أفضل طريق يمكن لفرق الإنقاذ سلوكه، وتحديد طريقة الإنقاذ والموارد المطلوبة.

كما تعتمد عمليات البحث والإنقاذ على وجود أجهزة استغاثة تحمل أجهزة تحديد المواقع ترسل موقعها مع نداء الاستغاثة لكي تتمكن فرق الإنقاذ من قراءة موقع الاستغاثة والوصول إليه بسرعة.

٨ـ تعقب الأقمار الاصطناعية والمركبات الفضائية القريبة من الأرض، حيث يعد النظام هو نظام الملاحة الرئيسي في المكوك الفضائي.

٩ـ معرفة وتحديد مواقع المتنزهون والبحارة واتجاههم وسرعتهم ومسار رحلتهم إلى وجهتهم، وكذلك طريق العودة، كما تستطيع مراكب الصيد البحري التعرف على أماكن الصيد وتعقب هجرة الأسماك.

١٠ـ تمكين فنيو الصيانة من معرفة موقع العطل حتى لو كان تحت الأرض، مثل أنابيب المياه وشبكات الكهرباء والاتصالات، حيث تجوب عربات لصيانة الطرق الشوارع والطرق البرية المجهزة بكامرات تصوير

وتمسح الطريق لتحديد الأماكن التي تحتاج لصيانة، بينما تسجل أجهزة تحديد المواقع خطي الطول والعرض للموقع.

١١ـ حرس الحدود وخفر السواحل.

١٢ـ تحديد مواقع الشبكات الأرضية والهوائيات.

١٣ـ قياس تحركات القشرة الأرضية قرب الصدوع الجيولوجية.

مصادر الأخطاء في تحديد الموقع

بالرغم من أن أنظمة الملاحة الفضائية صممت لتحدد الموقع بدقة عالية، إلا أنه لا يزال هناك عوامل عديدة تساهم في زيادة الخطأ في الموقع عن المسافة المتوقعة، فقد يصل مجموع الخطأ من كل العوامل إلى مئات الأمتار في بعض الأحيان.

الجدير بالذكر أنه يمكن تقليل أخطاء بعض العوامل ولكن يصعب التغلب على أخرى، ومن أهم عوامل الأخطاء ما يلي:

● حالة الغلاف الجوي

تتسبب طبقتا الأيونسفير والتربوسفير في انحراف الإشارات الكهرومغناطيسية، مما يؤدي إلى تغير سرعة الإشارة، وبالتالي تغير الزمن الذي قطعته للوصول إلى جهاز الاستقبال، وهذا يؤدي إلى خطأ في حساب المسافة بين الجهاز والقمر.

تعمل الجزيئات المتأينة في طبقة الأيونسفير على تغيير سرعة الإشارة، ونظراً لأنه من الصعب توقع حالة الأيونسفير وسمكها فإنه من الصعب أخذ تأثيرها في الحسبان. إضافة إلى ذلك فإن بخار الماء في طبقة التربوسفير القريبة من سطح الأرض له تأثير مماثل لطبقة الأيونسفير، ولكن بصورة أقل. يصل الخطأ الناجم عن تأثير الغلاف الجوي إلى ٣٠ متراً ويزداد في المناطق الاستوائية.

وتُعد حالة الغلاف الجوي أكبر عوامل الخطأ في تحديد الموقع، ويمكن تقليل تأثيرها بالاستفادة من الخاصية الفيزيائية، وهي أن إشارتين بترددين مختلفين تتغير سرعتهما عند اختراق طبقة الأيونسفير بمعدل يتناسب مع مربع التردد. لذا عندما يستقبل الجهاز إشارتين بترددين مختلفين من قمر واحد فإنه يمكن تقدير تغير سرعة الإشارة بواسطة أجهزة أرضية ثنائية التردد، وهي متوفرة في نظام (GPS) .

● أخطاء المدار

يتغير مسار القمر قليلا عما هو متوقع بسبب ظواهر طبيعية، وبما أن تحديد الموقع يعتمد على معرفة موقع القمر، فإن التغيرات البسيطة في موقع القمر تؤدي إلى أخطاء في حساب الموقع، تتراوح ما بين متر إلى خمسة أمتار. وللتغلب على هذه المشكلة تراقب محطات التعقب الأقمار بصفة دورية ويحسب مدارها بدقة.

● أخطاء الساعة

يعتمد حساب الموقع على دقة ساعات الأقمار والجهاز الأرضي، حيث تحمل الأقمار ساعات ذرية فائقة الدقة يمكن مراقبتها دورياً. ولكن تكمن المشكلة في ساعة الجهاز الأرضي التي تتفاوت دقتها ليصل خطأ تحديد الموقع من جراء ذلك إلى حوالي ١,٥ متر.

● التشويش

تتعرض إشارات أقمار الملاحة ـ مثل غيرها من الأقمار الاصطناعية ـ للتشويش والتداخل التي تسبب العديد من الأخطاء. وهي من الأخطاء التي يصعب التعامل معها لوجود العشرات من مصادر التشويش الأرضية غير المتعمدة مثل: أجهزة الاتصالات، وأفران الميكروويف. يتراوح الخطأ ـ عموما ـ بين صفر وعشرة أمتار. تُجرى العديد من الأبحاث لتقليل تأثير التشويش والتداخل العرضي والمقصود ,كما تُسن العديد من القوانين لتقليل احتمال حدوثها.

● المسار المتعدد

عند وصول إشارة القمر للأرض فإنها تنعكس من بعض الأجسام والأسطح مثل المباني والجبال، فيصل إلى جهاز الاستقبال إشارة من القمر مباشرة مصحوبةً بنسخ عديدة من هذه الإشارة المنعكسة من أسطح قريبة، فيما يُعرف بالمسار المتعدد (Multipath)، وهذا الخطأ ـ يتراوح بين صفر ومتر واحد ـ يصعب تصحيحه. يزداد تأثير هذا العامل داخل المدن ذات المباني المرتفعة.

● الأخطاء المتعمدة:

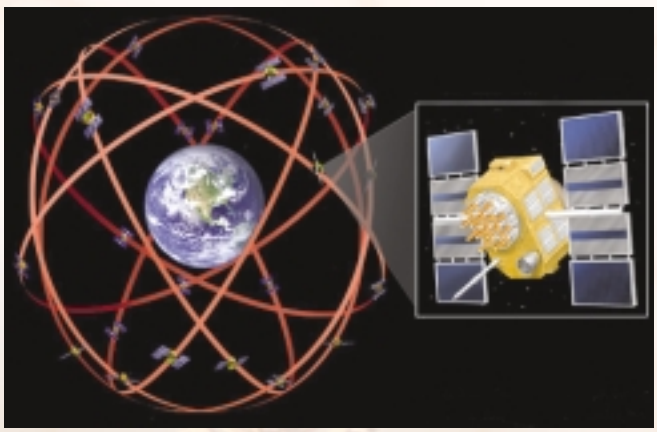
الأخطاء المتعمدة هي أخطاء مقصودة لتقليل دقة تحديد الموقع لمنع الآخرين من الاستفادة القصوى من إمكانيات النظام، وهي أخطاء عشوائية تضاف إلى إشارة القمر مثل أخطاء في الساعة أو معلومات المدار. قامت وزارة الدفاع الأمريكية بإضافة هذه الأخطاء (Selective Availability) على نظام (GPS) حتى تم إلغاءها بقرار رئاسي عام ٢٠٠٠م، وقد كان الخطأ الناتج حوالي ١٠٠ متر.

● توزيع الأقمار

يعمل توزيع وموقع الأقمار إما إلى زيادة أخطاء العوامل السابقة أو التقليل منها. ومن الجدير بالذكر أن دقة النظام تتحسن عندما تكون الزوايا بين الأقمار كبيرة أي موزعة في السماء بالنسبة لجهاز الاستقبال، فعندما تكون الأقمار موزعة في الفضاء تكون الدقة أفضل بثلاث مرات عنها عندما تكون متقاربة.

نظام (GPS)

نظام (GPS) الأمريكي: هو أول نظام ملاحي متطور يعتمد على الأقمار الاصطناعية، ويتكون حاليا من ٢٤ قمراً. تم تطوير النظام بواسطة وزارة الدفاع الأمريكية لاستخدامه في الأغراض العسكرية، ولكن خلال السنوات التي أعقبت حرب الخليج الثانية اتضحت أهميته في الاستخدامات المدنية، وبالتالي سُمح للمدنيين بالاستفادة منه.



يتميز النظام بالدقة والمرونة ورخص الأجهزة المستخدمة وسهولة استخدامها وحملها، وقد بدأ إطلاق الجيل الثاني (Block II) من النظام منذ عام ١٩٨٩م، حيث تم إطلاق ٢٤ قمراً. كما تم إطلاق ٦ أقمار من (Block II R) خلال الفترة مابين ١٩٩٦-٢٠٠١م من مجموع ٢٠ قمر تم تصنيعها، وتمت جدولة إطلاق آخرها في ٢٠٠٩م، وسوف يبدأ إطلاق أقمار الجيل الثالث (Block III) في عام ٢٠٠٩م، وستكون طاقة الإشارة أقوى من سابقاتها بعشر مرات، مما يجعل التشويش عليها صعباً.

● أجزاء النظام

يتكون نظام الـ (GPS) من ثلاثة أجزاء، هي:

* **الجزء الفضائي:** وهو عبارة عن ٢٤ قمراً موزعة على ستة مستويات مدارية وتدور في مدار دائري على ارتفاع ٢٠٢٠٠ كم وفترة مدارية ١٢ ساعة. وقد اختيرت زاوية الميل لتكون ٥٥ درجة، وذلك لتغطية المناطق القطبية. وقد صممت المدارات بحيث يمكن رؤية ٤ أقمار على الأقل في أي مكان وزمان.

يحتوي كل قمر ـ يزن ٢٠٠٠ كجم ـ على ٤ ساعات ذرية، هي ساعتا روبديوم (Rubidium) تصل درجة ثباتها إلى ثانية كل ٣٠٠ ألف سنة. وساعتا سيزيوم (Cesium) تصل درجة ثباتها إلى ثانية كل ١٦٠ ألف سنة. وتصل الدقة في تحديد الموقع إلى ١٦ متراً. أما دقة تحديد السرعة فتصل إلى أقل من نصف كيلومتر في الساعة، بينما تصل دقة تحديد الزمن إلى جزء من مائة مليون من الثانية.

* **نظام التحكم:** ويقوم بتشغيله سلاح الجو الأمريكي من خلال محطة تحكم رئيسية في ولاية كلورادو، وثلاث محطات تحكم وخمس محطات مراقبة موزعة حول العالم. تقوم هذه المحطات بمراقبة الأقمار ورصد مداراتها بدقة والتأكد من الساعات الذرية. كما ترصد هذه المحطات الغلاف الجوي وترسل معلومات عن مواقع الأقمار المتوقعة حتى الرصد المقبل. الجدير بالذكر أن موقع هذه المحطات معروف بدقة شديدة (تصل إلى أقل من ١٠ سم)، وهذا مهم في قراءة وتصحيح بيانات الأقمار.

* **مستخدمو النظام:** ويتكون من جهاز الاستقبال الذي يحتوي على معالج رقمي. يقوم المعالج الرقمي بتحديد هوية الأقمار التي يستطيع استقبال إشاراتها (٨-١٢ قمر) من خلال تحليل شفرة كل منها، ومن ثم يقوم بالعمليات الحسابية اللازمة. وتخزين معلومات المدار لكل قمر.

● أنواع الأجهزة

يستخدم المساحون أجهزة معقدة ومتعددة القنوات لاستقبال معلومات الزمن والموقع من عدة أقمار في الوقت نفسه. تحدد هذه الأجهزة موقع القمر بدقة عالية ولمرات عديدة في الثانية.

وبما أن أجهزة (GPS) تستقبل ـ فقط ـ المعلومات من الأقمار فإن النظام يستطيع خدمة عدد غير محدود من المستخدمين. ويوجد حالياً ملايين الأجهزة تستخدم عسكرياً ومدنياً. وهناك ثلاثة أنواع من أجهزة (GPS) تباع في الأسواق، يوفر كل منها مستوى معين من الدقة، ولكل نوع متطلبات معينة للوصول إلى تلك المستويات، وهي كما يلي:

* **الأجهزة العادية** (Coarse Acquisition Code Code Receiver-C/A): وهي الأكثر شيوعاً على مستوى العالم، حيث تصل دقتها مع استخدام التصحيح التفاضلي إلى ١-٥ أمتار. وتعد هذه الدقة كافية للكثير من الاستخدامات. تحسب هذه الأجهزة الموقع بسرعة (حوالي ثانية واحدة) وتتحسن دقة الموقع بعد حوالي ثلاث دقائق إلى ١-٣ متر. توجد حالياً أجيال متقدمة من هذه الأجهزة تصل دقتها إلى ٣٠ سم.

* **أجهزة استقبال الطور** (Carrier Phase Receiver): وتقوم بحساب المسافة بينها وبين القمر بعَدّ الموجات الحاملة لإشارة (C/A Code). تحدد هذه الأجهزة الموقع بدقة تتراوح ما بين ١٠ إلى ٣٠سم مع استخدام التصحيح التفاضلي، لكنها تستغرق زمنا طويلاً (١٥-٤٠ دقيقة). كما تتطلب هذه الطريقة استمرار استقبال الإشارات من نفس الأقمار طوال تلك المدة، وهو أمر ليس ممكناً دائماً، بسبب حركة الأقمار الدائمة واحتمال اختفاء بعضها خلف الأفق وظهور أخرى جديدة. لذا تستطيع هذه الأجهزة الوصول إلى دقة عالية لكن القليل فقط من التطبيقات تستطيع الاستفادة من هذه الدقة.

* **الأجهزة ثنائية التردد** (Dual-Frequency Receiver): وتتمثل مهمتها بتقليل تأثير الخطأ الناجم عن استقبال إشارتين من القمر نفسه التي تحدث ـ عادة ـ نتيجة لتغيرات الغلاف الجوي، إذ يمكنها الوصول إلى دقة تصل إلى سنتيمتر واحد مع استخدام التصحيح التفاضلي.

● إشارة (GPS)

تعمل كل أقمار (GPS) بتزامن لترسل إشاراتها في الوقت نفسه. وتصل هذه الإشارات ـ تتحرك بسرعة الضوء ـ إلى جهاز الاستقبال بأوقات مختلفة؛ لأن الأقمار ليست على مسافات متساوية عن الجهاز. ومن ذلك يمكن حساب موقع القمر من حساب المسافة بينه وبين الجهاز التي يتم حسابها من فرق الوقت بين إرسال الإشارة واستقبالها.

ترسل أقمار (GPS) نوعين من الإشارات، هما:

١ـ إشارة تحديد المواقع القياسية(SPS): وتصل دقتها إلى ١٠٠ متر، ودقة تحديد الارتفاع إلى ١٥٦ متراً، ودقة الزمن واحد من ثلاثة ملايين من الثانية.

٢ـ إشارة تحديد المواقع الدقيق(PPS): وتصل دقتها إلى ٢٢ متراً، ودقة تحديد